

日本電信電話(株)の研究グループは、フォトニック結晶を用いて小さな体積に光を閉じ込める技術を利用して、従来より大幅に消費エネルギーが小さい光スイッチとレーザを開発し、その動作確認に成功した。これらの光素子は半導体チップ上の積載にも適したものとなっており、チップ内やチップ間などの通信に用いることで通信エネルギーの大幅な削減が期待できる。

トピックス 2 フォトニック結晶を利用した低消費エネルギーの光素子

日本電信電話(株)の研究グループは、従来より大幅に消費エネルギーを削減できる光スイッチとレーザを開発したと発表した^{1, 2)}。光通信は高速であるものの消費エネルギーが大きいと、その利用は比較的長距離の通信に限られている。しかし、レーザや光スイッチなどの光素子の消費エネルギーが大幅に小さくなれば、半導体チップ内やチップ間などの光通信に用いることができ、従来の電氣的な通信よりも消費電力が低減されると期待されていた³⁾。

光を物質内の一部分に閉じ込めると、その内部で光と物質が強く相互作用し、光素子として機能するようになる。光を閉じ込める部分はキャビティと呼ばれる。キャビティを小さくするとキャビティ内での光の密度が高くなり、効率的に光素子を動作させることができる。今回の研究成果はいずれも、小さなキャビティ内に光を閉じ込めることで大幅な低消費エネルギー化を達成した。

研究グループはキャビティの形成に、化合物半導体の平板に周期的に円形の穴を開けた平面的なフォトニック結晶を利用した。平板のままでは光は面内方向に伝わるが、これに周期的な穴を開けると光が伝わらなくなる。また、これに直線的に穴のない部分を設けると、逆にその部分は光が伝わる導波路になる。

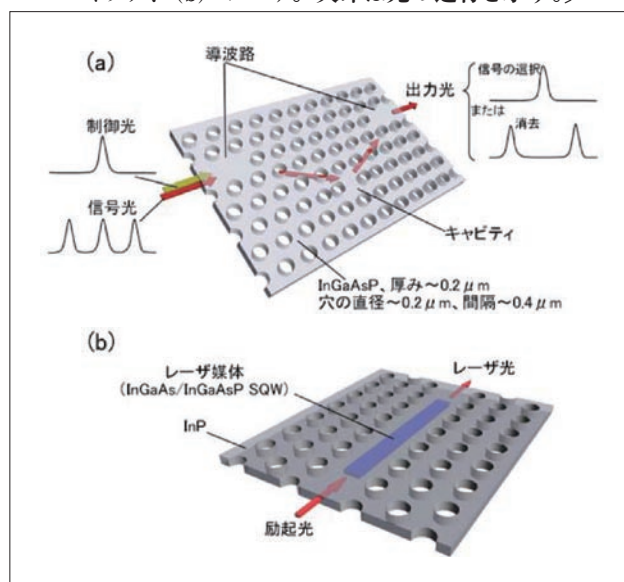
光スイッチは、穴間隔が約 $0.2\mu\text{m}$ の InGaAsP 平板のフォトニック結晶に 2 本の導波路とその間にキャビティを配置した構造である(図表 a)。2 つの穴の間隔を他の部分より $0.17\mu\text{m}$ 広げた部分がキャビティで、入力導波路から導かれた光は一旦キャビティに閉じ込められたのち、出力導波路をとって出力される。InGaAsP は強い光を当てると屈折率が大きく変化するため、強い制御光を入力すると、キャビティを通過できる光の波長が変化する。これを利用して光の透過をオン・オフする。屈折率変化が大きい InGaAsP に小

さなキャビティを形成した結果、従来より 2 桁小さい、1 ビット当たり $1 \times 10^{-15} \text{ J}$ 以下のエネルギーでのスイッチ動作を達成した。

一方、レーザは InP の導波路中に InGaAs/InGaAsP 量子井戸のレーザ媒体を埋め込む構造である(図表 b)。媒体と導波路との屈折率の差により自動的に媒体周辺にキャビティができ、このキャビティの体積は従来の半導体レーザの $1/100$ 程度である。光励起の実験で、1 ビットの発生のために必要なエネルギーはこれまでの最も効率の良い半導体レーザより 1 桁小さい $13 \times 10^{-15} \text{ J}$ であった。この研究は電流駆動のレーザの開発が次のステップであると考えられる。

これらの光素子はサイズも小さく、半導体チップ上の積載にも適したものとなっている。

図表 フォトニック結晶を用いた光素子の模式図 [(a) 光スイッチ、(b) レーザ。矢印は光の進行を示す。]



参考文献^{1, 2)}を基に科学技術動向研究センターにて作成

参 考

- 1) K. Nozaki et al., "Sub-femtojoule all-optical switching using a photonic-crystal nanocavity", Nature Photon., Vol. 4, 477 (2010)
- 2) S. Matsuo et al., "High-speed ultracompact buried heterostructure photonic-crystal laser with 13 fJ of energy consumed per bit transmitted", Nature Photon., Vol. 4, 648 (2010)
- 3) 竹内寛爾, 「光インターコネクション技術動向」, 科学技術動向 2006 年 1 月号、No. 58、p.9